

печи устанавливаются два регенератора, из которых попеременно один охлаждается подогреваемым воздухом, а второй нагревается горячими продуктами сгорания. При подогреве воздуха до 250...300 °С, идущего на сжигание природного газа, экономия составляет 15...20 %. В промышленности хорошо известно применение котлов-утилизаторов. Оно позволяет обеспечить большую экономию топлива путём генерирования пара или нагрева воды за счёт использования вторичной теплоты продуктов сгорания. Установка контактных экономайзеров в качестве низкотемпературной ступени комплексных установок на промышленных предприятиях позволяет в ряде случаев полностью отказаться от выработки пара, который расходуется на нагрев технологической воды, повысить коэффициент использования топлива до 95...97 % при сведении теплового баланса по высшей теплоте сгорания природного газа.

#### *Библиографический список*

1. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Л.: Наука, 1978. 279 с.
2. Аронов И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных. М.: Энергия, 1967. 192 с.
3. Энергосбережение и охрана воздушного бассейна при использовании природного газа / Б.В. Шанин, Е.Е. Новгородский, В.А. Широков, А.Ф. Пужайло. Н. Новгород: ННГАСУ, 1998. 384 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ КОКСОВАНИЯ**

*Мамбетова А.Г., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г. И. Носова*

В установках сухого тушения кокса (УСТК) горячий кокс охлаждается циркуляционным газом от 1000...1200 °С до 250...200 °С. Нагретый газ с температурой 800 °С подается в котел-утилизатор для выработки пара с температурой 350 °С [1].

В данной работе ставится задача оценки эффективности тепловой работы УСТК при охлаждении кокса в интервале температур 1200...200 °С азотом для выработки пара следующих параметров: 4 МПа, 450 °С.

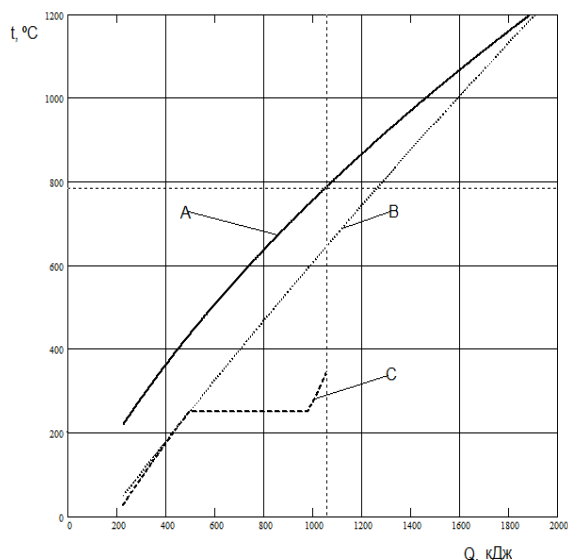
Чтобы оценить тепловую работу УСТК, необходимо построить энтальпийную диаграмму, в которую входят графики охлаждения кокса, нагрева азота и нагрева воды. Температурно-тепловые графики данных материалов выполнены в среде MathCad.

Нагрев N<sub>2</sub> на интервале температур от 50 до 1200 °С однозначно определяет количество N<sub>2</sub>, которое может воспринимать все тепло, содержащиеся в коксе.

Анализ графиков изменения теплового состояния кокса и азота при теплообмене в условиях противотока показывает, что в рассматриваемом диапазоне температур для полного завершения теплообмена необходимо 1,03 м<sup>3</sup> инертного газа. Выяснили, что возможно нагреть на теплоте N<sub>2</sub> 0,553 кг воды.

Известно, что максимальной эффективностью теплообмена обладают равновесные процессы с минимальной разностью температур между греющим и нагреваемым потоками [2].

Мы можем сократить эту разность температур, изменяя количество нагреваемой воды, что и показано на рисунке.



Температурно-тепловой график теплообмена охлаждающегося кокса, нагреваемого азота и воды: А – охлаждение кокса; В – нагрев  $N_2$ ; С – нагрев  $H_2O$  при  $m_{\text{воды}} = 0,28$  кг.

Изобара 4 МПа производства водяного пара включает изотермическую площадку на уровне температуры насыщения  $t_s = 250,36$  °С, которая неизбежно увеличивает разность температур азота и водяного пара.

На основе расчетов и построенных графиков выявили теоретически минимальное количество воды равное 0,28 кг, которое может взять 1058,3 кДж/кг энергии кокса и охладить его от температуры 1200 °С до температуры 789,3 °С.

Достигаемая конечная энтальпия пара делит температурный интервал охлаждения кокса на две части: низкотемпературную (789,3...0 °С) и высокотемпературную (1200...789,3 °С).

Если процесс охлаждения кокса азотом с последующим нагревом воды эффективен только до температуры 789,3 °С, то необходимо выяснить возможные другие способы охлаждения в высокотемпературной зоне, т. е. выше 789,3 °С.

Поиск наиболее эффективного направления использования горячего кокса можно вести по дальнейшей технологической цепочке черной металлургии.

Кокс охлаждающийся в УСТК от 1200 °С до 220 °С и далее (вне УСТК) – до температуры окружающей среды, впоследствии загружается в домы и вновь нагревается по тому же температурно-тепловому графику от температуры окружающей среды до 1200 °С и выше. В этом состоянии кокс используется для восстановления агломерата и железорудных окатышей и это – основной, целевой и самый энергоемкий процесс черной металлургии.

Таким образом, в интервале температур 800-1200 °С процессы в УСТК и доменной печи во многом аналогичны и различаются только направлением.

Следовательно, охлаждение кокса в УСТК в высокотемпературной части может быть использовано аналогично доменному процессу.

Если учесть, что железорудный агломерат отличается повышенной хрупкостью при перегрузках и пересыпках, то эффективным решением охлаждения кокса в высокотемпературной части может оказаться восстановление коксом преимущественно железорудных окатышей в различных вариантах [3].

#### *Библиографический список*

1. Куперман Л.И., Романовский С.А., Сидельковский Л.Н. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Вища школа, 1989. 303 с.
2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.: Справочник / Под общей ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Григорьева, В.М. Зорина. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1988. 560 с.
3. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин, В.М. Клемперт. М.: Металлургия, 1989. 512 с.

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АППАРАТА С МЕШАЛКОЙ**

*Морданов С.В., Хомяков А.П.*

*УрФУ*

*s.v.mordanov@gmail.com*

Расчет мощности привода мешалки в соответствии с классическими методиками [1, 2] не может быть осуществлен чисто аналитически. Мощность привода является функцией определяемого экспериментально для каждого типа мешалок *критерия мощности*. *Критерий мощности* зависит от гидродинамической картины в аппарате (значения числа  $Re$ ) и формы мешалки.

Следует отметить, что значения *критерия мощности* даже для мешалок схожего назначения, при одних и тех же скоростных режимах могут отличаться в разы [3]. Следовательно, выбор конструкции перемешивающего устройства существенно влияет не только на технологические параметры производственного процесса, но и на энергетическую эффективность работы аппарата с мешалкой.

Так как расчет мощности требует знания опытных данных, расчет нестандартных мешалок вызывает существенные затруднения. Выходом из сложившейся ситуации может послужить применение метода конечных элементов в его современном приложении вычислительной гидродинамике (англ. *CFD – Computational Fluid Dynamics*).

Методика *CFD* моделирования аппаратов с мешалками отработана [4, 5] и позволяет получать адекватные результаты со сходимостью опытных и расчетных данных 90...95 % [5].

В рамках представленной работы методами вычислительной гидродинамики были рассчитаны мешалки аналогичного назначения для вязких сред (рис. 1): ленточная мешалка [1, 2], мешалка *Paravisc EKATO* [6], и мешалка *Paravisc* измененной конструкции [6].